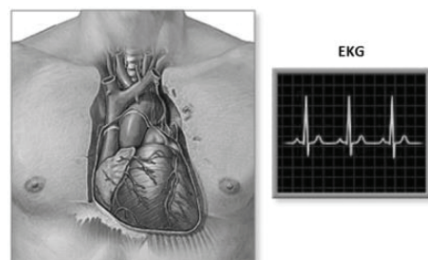


Pomiary i przetwarzanie sygnału EKG

Co to jest elektrokardiografia ?

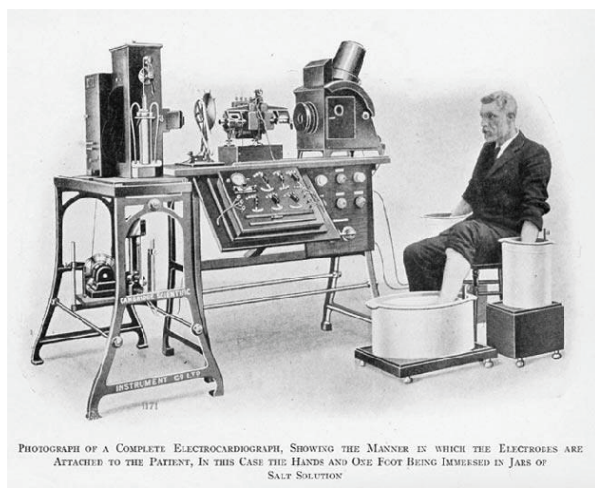
- **Elektrokardiografia** - metoda obrazowania zmienności potencjału elektrycznego wytwarzanego przez serce i mierzonego na powierzchni ciała za pośrednictwem odpowiednio rozmieszczonych elektrod pomiarowych tworzących system odprowadzeń.
- **Elektrokardiogram** - graficzny zapis wielkości zmian różnic potencjałów między elektrodami w czasie.
- **Elektrokardiograf** – przyrząd do rejestracji sygnałów pochodzących z odprowadzeń elektrokardiograficznych.



Parametry diagnostyczne EKG

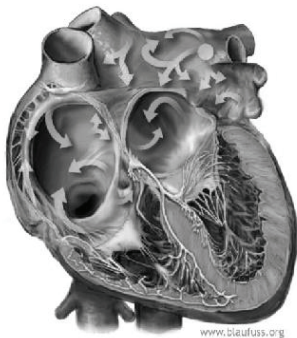
- Podstawowym celem elektrokardiografii jest diagnostyka pracy serca na podstawie obserwowanych zjawisk elektrycznych.
- Z diagnostycznego punktu widzenia najbardziej istotne są:
 - parametry czasowe — reprezentują następstwo zjawisk związanych z pobudzeniem i relaksacją mięśnia serca,
 - parametry morfologiczne — reprezentują miejsce powstania impulsu pobudzającego i drogę jego przewodzenia.

Historia EKG

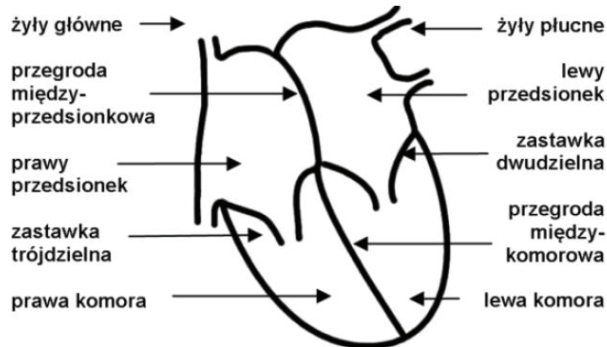


- Czynność elektryczna serca znana jest od połowy XIX wieku.
- **Prekursor EKG był W. Einthoven**, który w roku 1903 dokonał pomiaru czynności elektrycznej serca z powierzchni ciała.
- EKG jako metoda diagnostyczna, rozwinęła się po roku 1936, kiedy to do rejestracji zastosowano wzmacniacz lampowy oraz system zapisu pomiaru na papierze.

Aparat EKG
skonstruowany przez Einthovena



www.bizufuss.org

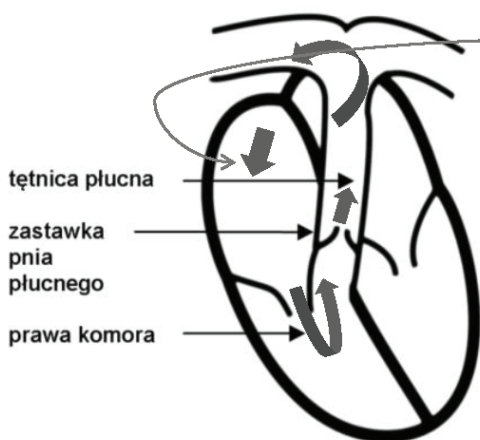


Schemat budowy serca

Budowa i działanie serca

- **Serce** jest pompą wprawiającą krew w ruch i umożliwiającą transport tlenu i substancji odżywczych do wszystkich narządów oraz usuwanie z nich produktów szkodliwych.
- **Serce** składa się z dwóch przedsionków oraz dwóch komór, oddzielonych od siebie szczelnymi przegrodami.
- Przedsionki (prawy i lewy) są połączone z komorami zastawkami odpowiednio trójdzielną i dwudzielną, które wymuszają ruch krwi w jednym kierunku

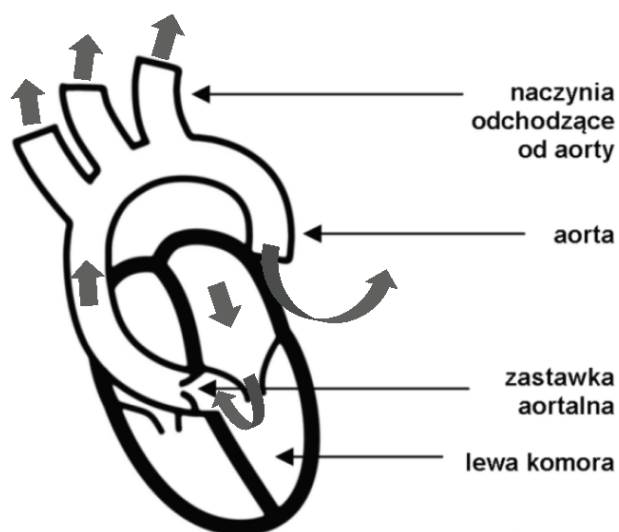
Budowa i działanie serca c.d.



Schemat działania serca (A)

1. Krew z niską zawartością tlenu z żył głównych wpływa do prawego przedsionka, a dalej poprzez zastawkę trójdzielną do prawej komory.
2. Następnie przez zastawkę pnia płucnego krew dostaje się do tętnicy płucnej. Część prawej komory, zastawka pnia płucnego wraz z tętnicą płucną stanowią drogę wypływu z prawej komory.
3. Zapewnia to właściwy dopływ krwi do płuc oraz jej natlenianie w płucach.

Budowa i działanie serca c.d.



Schemat działania serca (B)

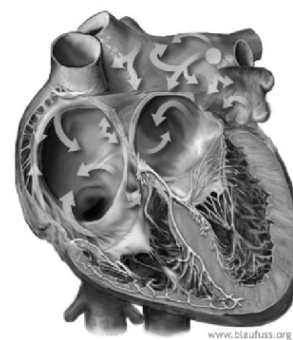
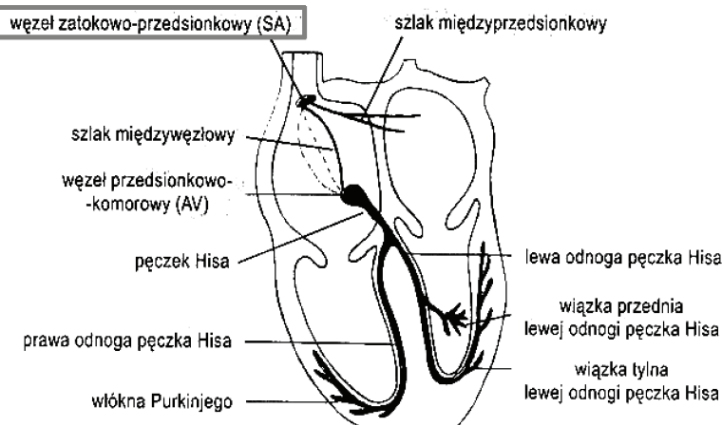
4. Bogata w tlen krew z płuc, poprzez żyły płucne, dostaje się do lewego przedsionka, skąd przepływając przez zastawkę dwudzielną (mitralną) wpada do lewej komory.
5. Krew z lewej komory wtłaczana jest do tętnicy głównej - aorty poprzez zastawkę aortalną. Umożliwia to dostarczanie krwi zawierającej tlen do każdej części ludzkiego ciała.
6. Serce jest zaopatrywane w krew przez naczynia wieńcowe odchodzące w początkowej części aorty.

- Serce w ciągu doby wykonuje ponad 100 tysięcy skurczów
- Serce przepompowuje w tym czasie ponad 7 000 litrów krwi

Fizjologia układu bodźcotwórczo - bodźcoprzewodzącego serca

- Cechą charakterystyczną mięśnia sercowego jest możliwość spontanicznego przekazywania pobudzenia pojedynczej komórki na cały mięsień.
- Szybkość przewodzenia bodźca w tych warunkach wynosi około:
400 mm/s wzdłuż włókien,
200 mm/s w poprzek włókien.
- W warunkach fizjologicznych wytwarzanie i przewodzenie impulsów depolaryzujących jest realizowane przez układ **bodźcotwórczo - bodźcoprzewodzący** zbudowany z wyspecjalizowanych **włókien mięśniowych**.

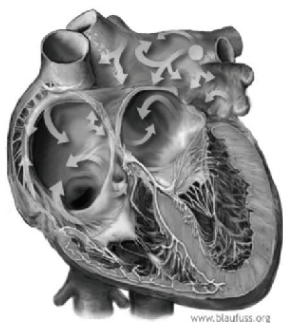
Główne elementy układu bodźcotwórczo - bodźcoprzewodzącego serca



Węzeł zatokowo-przedsionkowy SA:

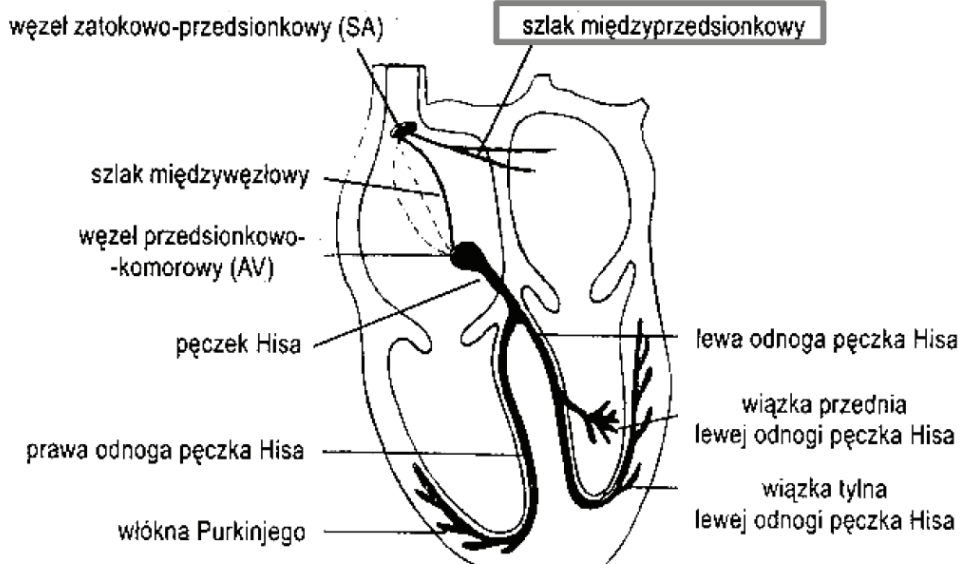
- jest podstawowym generatorem rytmu sterowanym przez sympatyczny i parasympatyczny układ nerwowy;
- ma powierzchnię ok. 1 mm² i składa się z kilku tysięcy komórek rozrusznikowych.
- sterowanie rytmem odbywa się na drodze neurologicznej poprzez wzajemnie antagonistyczne działanie układu sympatycznego (pobudzanie) i parasympatycznego (hamowanie), a także za pośrednictwem hormonów adrenaliny i tyroksyny.

Główne elementy układu bodźcotwórczo - bodźcoprzewodzącego serca

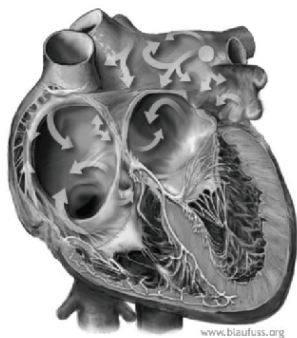


Szlak międzyprzedsionkowy

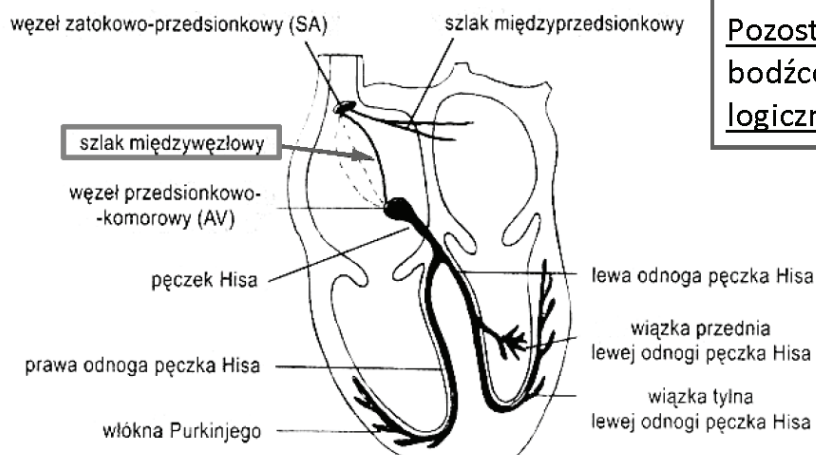
(tzw. wiązka Bachmanna) - przekazuje pobudzenie do komórek mięśni lewego przedsionka.



Główne elementy układu bodźcotwórczo - bodźcoprzewodzącego serca



www.biaufuss.org



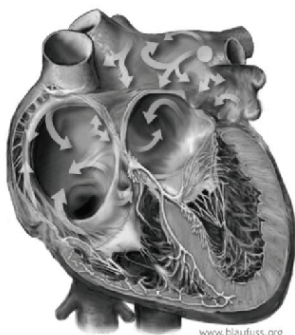
Szlaki międzywęzłowe:

- szlak przedni,
- szlak środkowy (Wenckebacha),
- szlak tylny (Thorela).

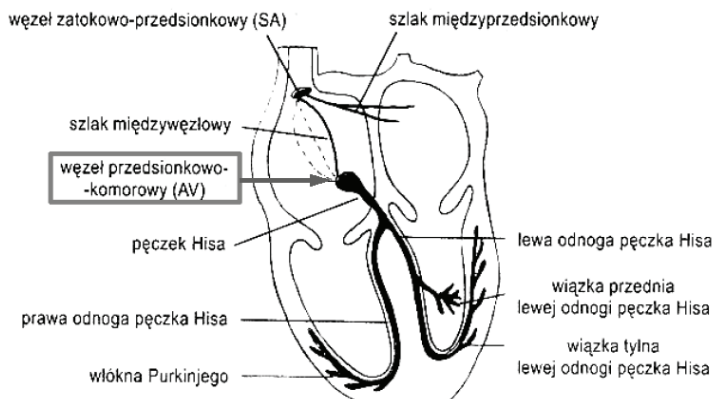
Szlak przedni przekazuje pobudzenie do węzła przedsionkowo-komorowego.

Pozostałe szlaki — zapasowe drogi bodźcoprzewodzące w warunkach fizjologicznych są nieczynne.

Główne elementy układu bodźcotwórczo - bodźcoprzewodzącego serca



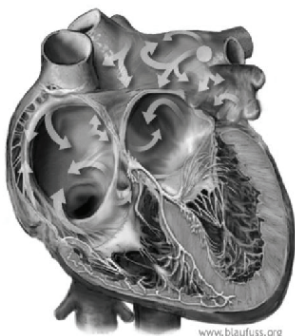
www.biaufuss.org



Węzeł przedsionkowo-komorowy AV

- nazywany jest zapasowym generatorem rytmu, posiada zdolności bodźcotwórcze (częstotliwość od ok. 45 do 60 1/min);
- w warunkach fizjologicznych jest przekaźnikiem bodźca ze szlaku międzywęzłowego przedniego do pęczka Hisa;
- charakteryzuje się b. wolnym przewodzeniem bodźca skutkujące opóźnieniem skurczu komór względem skurczu przedsionków.

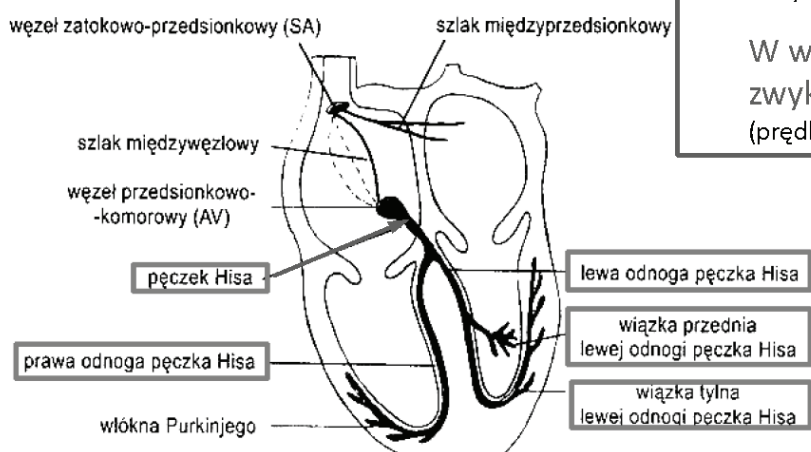
Główne elementy układu bodźcotwórczo - bodźcoprzewodzącego serca



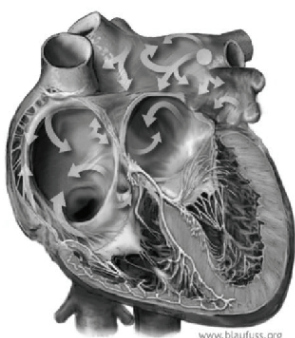
Pęczek Hisa wychodzi z węzła AV i po dojściu do przegrody międzykomorowej dzieli się na dwie odnogi posiadające zdolności bodźcotwórcze (częstotliwość ok. 40 1/min):

- **prawą odnogę pęczka Hisa (wąską),**
- **lewą odnogę pęczka Hisa (szeroką),** w której wyróżnia się trzy wiązki: przednią, tylną i przegrodową.

W warunkach fizjologicznych odnogi są zwykle przekąźnikami bodźca - (prędkość przewodzenia ok. 2000 mm/s).

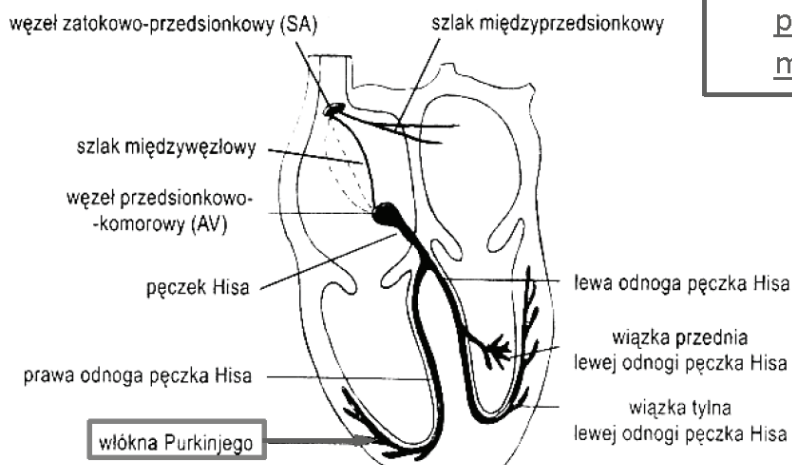


Główne elementy układu bodźcotwórczo - bodźcoprzewodzącego serca

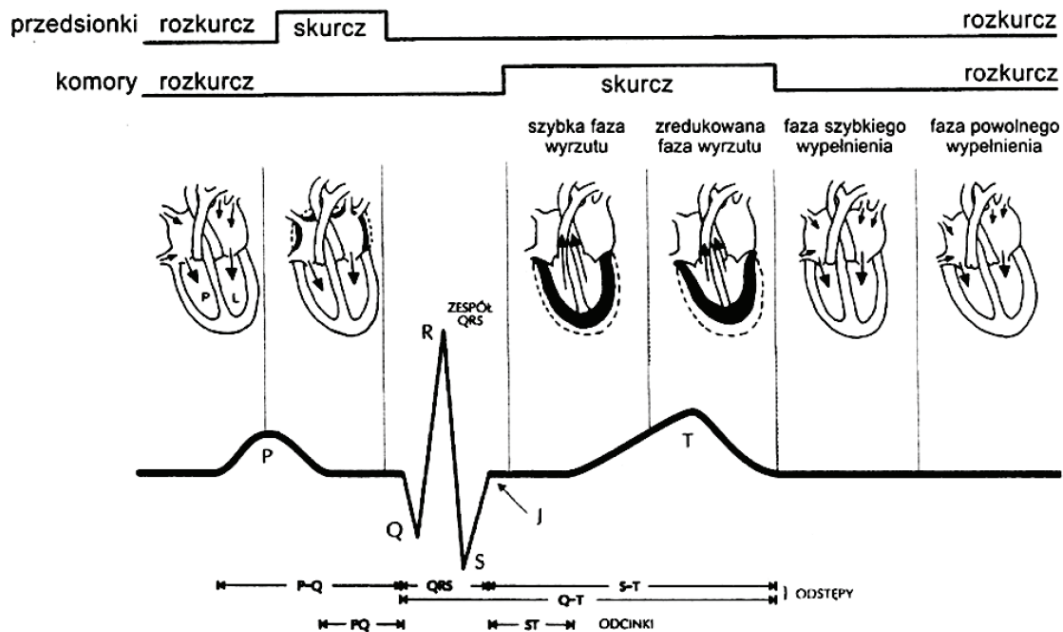


Włókna Purkiniego - rozgałęzione zakończenia wiązek pęczka Hisa w obu komorach:

- posiadają zdolności bodźcotwórcze (częstotliwość ok. 20 1/min);
- stanowią ostatni element układu bodźcoprzewodzącego - przenoszą pobudzenia bezpośrednio na roboczy mięsień komór.



Fizjologia układu bodźcotwórczo - bodźcoprzewodzącego serca

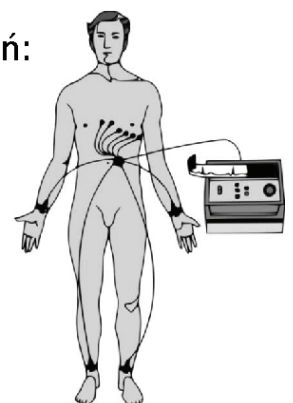


**Związek zjawisk mechanicznych i elektrycznych zachodzących w pracującym sercu
z obserwowalnymi na zewnątrz zmianami pola elektrycznego i zapisem EKG**

12-odprowadzeniowe badanie EKG

W spoczynkowej rejestracji EKG stosuje się układ 12 odprowadzeń:

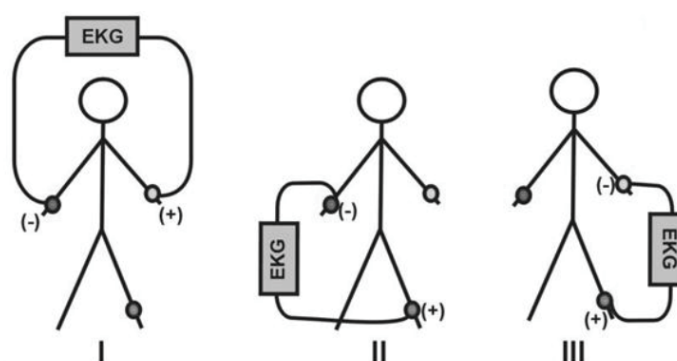
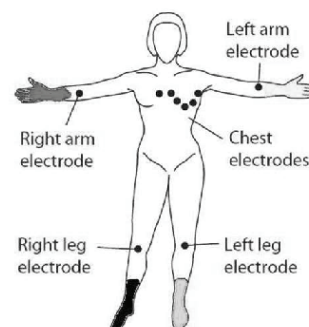
- 6 odprowadzeń kończynowych, w tym:
 - 3 odprowadzenia dwubiegunowe (*Einthovena*);
 - 3 odprowadzenia jednobiegunowe (*Goldbergera*).
- 6 odprowadzeń przedsercowych jednobiegunowych (*Willsona*).
- W systemie 12-odprowadzeniowym używa się tylko 10 elektrod.



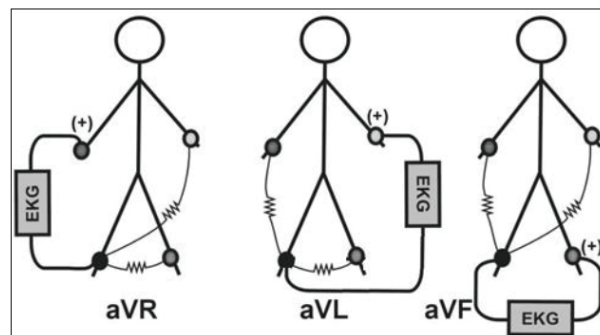
Odprowadzenia kończynowe dwubiegunowe (*Einthovena*)

Elektrody do pomiaru napięć umieszcza się na kończynach pacjenta – prawej i lewej ręce oraz lewej nodze. Dodatkową elektrodę odniesienia umieszcza się na prawej nodze.

- **Odprowadzenie I** – pomiar między: lewą ręką (biegun dodatni), a prawą ręką (biegun ujemny).
- **Odprowadzenie II** – pomiar między: prawą ręką (biegun ujemny), a lewą stopą (biegun dodatni).
- **Odprowadzenie III** – pomiar między: lewą ręką (biegun ujemny), a lewą stopą (biegun dodatni).



Odprowadzenia kończynowe jednobiegunowe (*Goldbergera*)

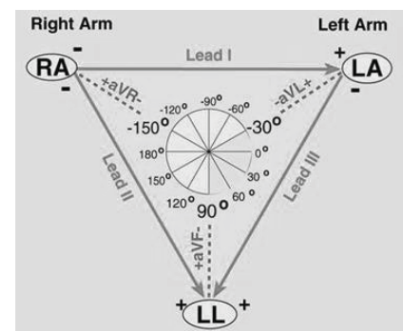


- ☐ Elektrody umieszcza się na kończynach pacjenta podobnie jak w odprowadzeniach dwubiegunowych – prawej i lewej ręce oraz lewej nodze. Biegun dodatni jest zawsze na danej kończynie.
- ☐ Różnica potencjałów mierzona jest między daną elektrodą a specjalnie skonstruowaną elektrodą odniesienia, która może powstać poprzez:
 - Połączenie ujemnych biegunów wszystkich trzech przewodów we wspólną końcówkę, łączy się dalej z ujemnym biegunem aparatu. Odprowadzenia te nazywane są wtedy: **VR** (*voltage right*), **VL**, **VF**;
 - Połączenie ujemnych biegunów dwóch przewodów we wspólną końcówkę. Wyłączany jest przewód dla tej kończyny, której potencjał jest w danej chwili mierzony. Odprowadzenia takie nazywamy jednobiegunowymi wzmocnionymi: **aVR** (*augmented voltage right*), **aVL**, **aVF**.

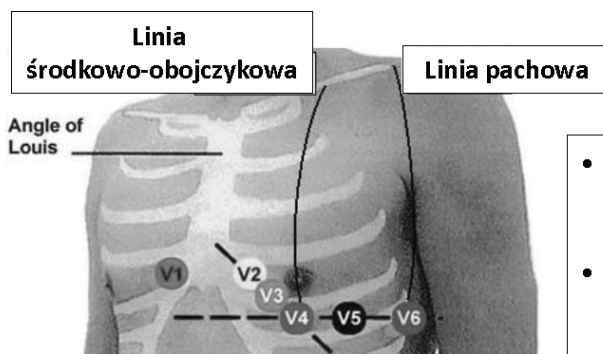
12-odprowadzeniowe badanie EKG

UWAGA:

- Umieszczenie odprowadzeń kończynowych powoduje powstanie redundancji informacji w:
 - zamkniętym oczku trójkąta *Einthovena* (odprowadzenia I, II i III) oraz
 - tworzących wysokości trójkąta równobocznego gałęziach *Goldbergera* (odprowadzenia **aVR**, **aVL** i **aVF**).
- Dzięki prawom *Kirchhoffa* można (pozostając w zgodzie z praktyką i przyzwyczajeniami kardiologów) rejestrować dowolne dwa odprowadzenia kończynowe, a pozostałe rekonstruować na drodze matematycznej.



Odprowadzenia przedsercowe jednobiegunowe



Położenia i kolory elektrod przedsercowych

- **Elektrody** (zwykle 6 szt.) umieszcza się na klatce piersiowej, stanowią one biegun dodatni.
- Biegun ujemny stanowi centralna końcówka (*Willsona*), skonstruowana przez połączenie ujemnych biegunów trzech przewodów z odprowadzeń jednobiegunowych kończynowych.

| Odprowadzenie przedsercowe | Położenie elektrody dodatniej | Obserwowana część serca |
|----------------------------|--|--------------------------|
| V ₁ | 4 PMŻ przy prawym brzegu mostka | przegroda międzykomorowa |
| V ₂ | 4 PMŻ przy lewym brzegu mostka | przegroda międzykomorowa |
| V ₃ | w połowie odległości V ₂ i V ₄ | ściana przednia |
| V ₄ | 5 PMŻ w linii środkowo-obojczykowej lewej | ściana przednia |
| V ₅ | 5 PMŻ w linii pachowej przedniej lewej | ściana boczna |
| V ₆ | 5 PMŻ w linii pachowej środkowej lewej | ściana boczna |

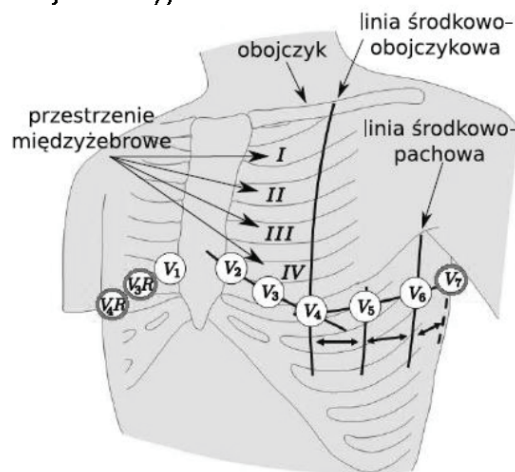
Odprowadzenia dodatkowe

Dodatkowe odprowadzenia przedsercowe prawostronne

Zastosowanie – w rejestracji aktywności elektrycznej prawej komory serca,
(do potwierdzenia lub wykluczenia zawału prawej komory).

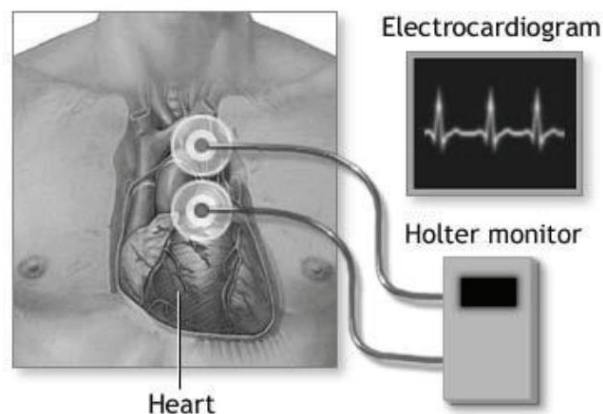
Oznaczenia:

- **V3R, V4R, V5R, V6R,**
(lustrzane położenia wobec układu lewostronnego).
- Sporadycznie stosowane:
V7 (linia pachowa tylna),
V8 (poniżej łopatki),
V9 (przy lewej krawędzi kręgosłupa).



Monitor leads

- 12 leads are not always necessary
- Sample of a monitor leads:
 - V1 (positive),
 - Right shoulder (negative),
 - Left shoulder (ground).

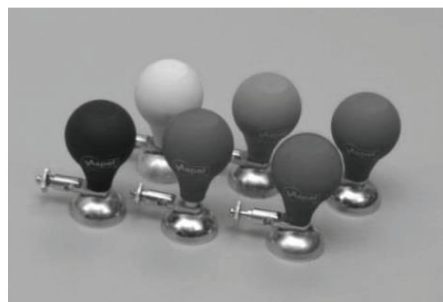
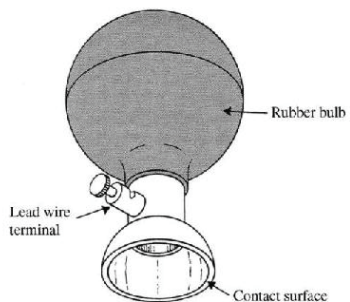


80 lead 3D ECG



<http://www.ebme.co.uk/articles/clinical-engineering/407-80-lead-3d-ecg>

Elektrody EKG



Elektrody przyssawkowe



Elektrody klamrowe



Elektrody jednorazowe

Reducing Artifact

The heart's electrical signal is very small and can be combined with other signals of similar frequency to create artifact. It is important to reduce any interference to ensure an accurate ECG.

Patient Positioning

- Place the patient in a supine position. If the patient can't be flat a more upright position is accepted
- Instruct the patient to place their arms down by their side and to relax their shoulders.
- Make sure the patient's legs are uncrossed.
- Move any electrical devices, such as cell phones, away from the patient

Reducing Artifact

Skin Preparation

- Dry the skin if it's moist or diaphoretic.
- Shave any hair that interferes with electrode placement for a better electrode contact with the skin.
- Rub an alcohol prep pad on the skin to remove any oils and help with electrode adhesion.

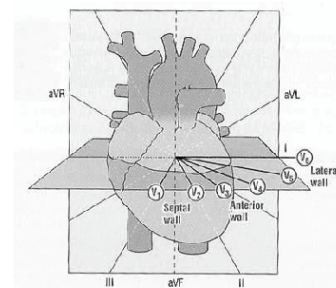
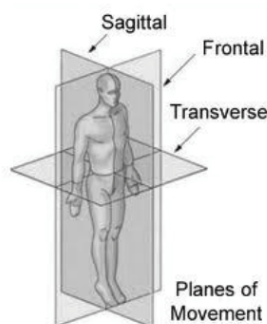
Electrode Application

- Check the electrodes to make sure the gel is still moist.
- Do not place the electrodes over bones.
- Do not place the electrodes over areas where there is a lot of muscle movement.

12-odprowadzeniowe badanie EKG

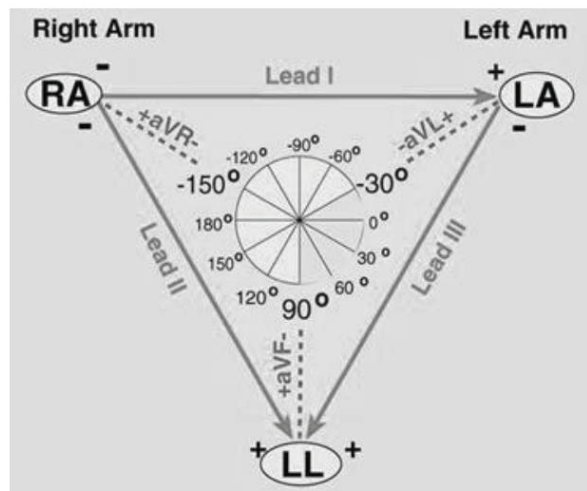
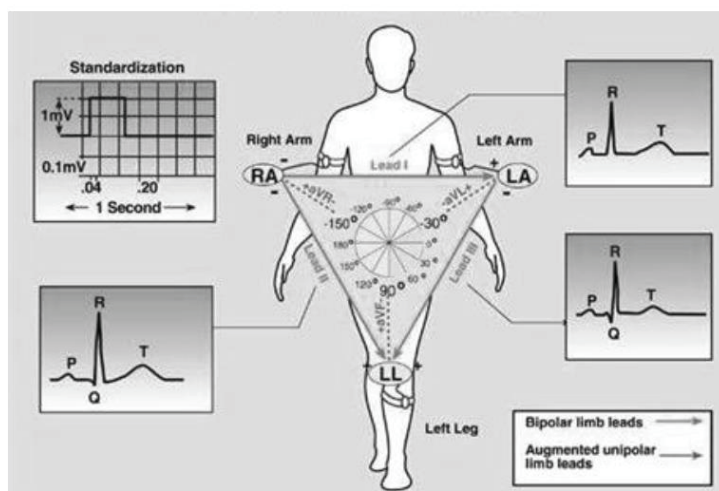
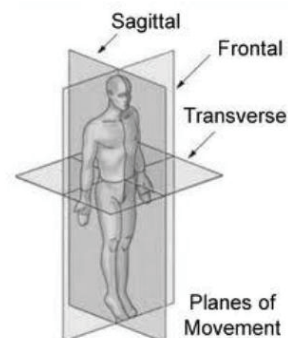
Warunki rejestracji i przetwarzania

- Standardowe 12-odprowadzeniowe badanie EKG jest wykonywane w spoczynku w pozycji leżącej przez czas od 10 do 15 s.
- Przetwarzanie sygnałów odbywa się analogicznie dla wszystkich zarejestrowanych kanałów, natomiast w interpretacji parametrów diagnostycznych, miejsce pobrania sygnału (pozycja elektrody) odgrywa kluczową rolę.
- Jedynym algorytmem wykorzystującym położenie elektrod jest wyznaczenie osi elektrycznej, co jest równoznaczne z określeniem geometrii położenia serca wewnątrz jamy ciała.



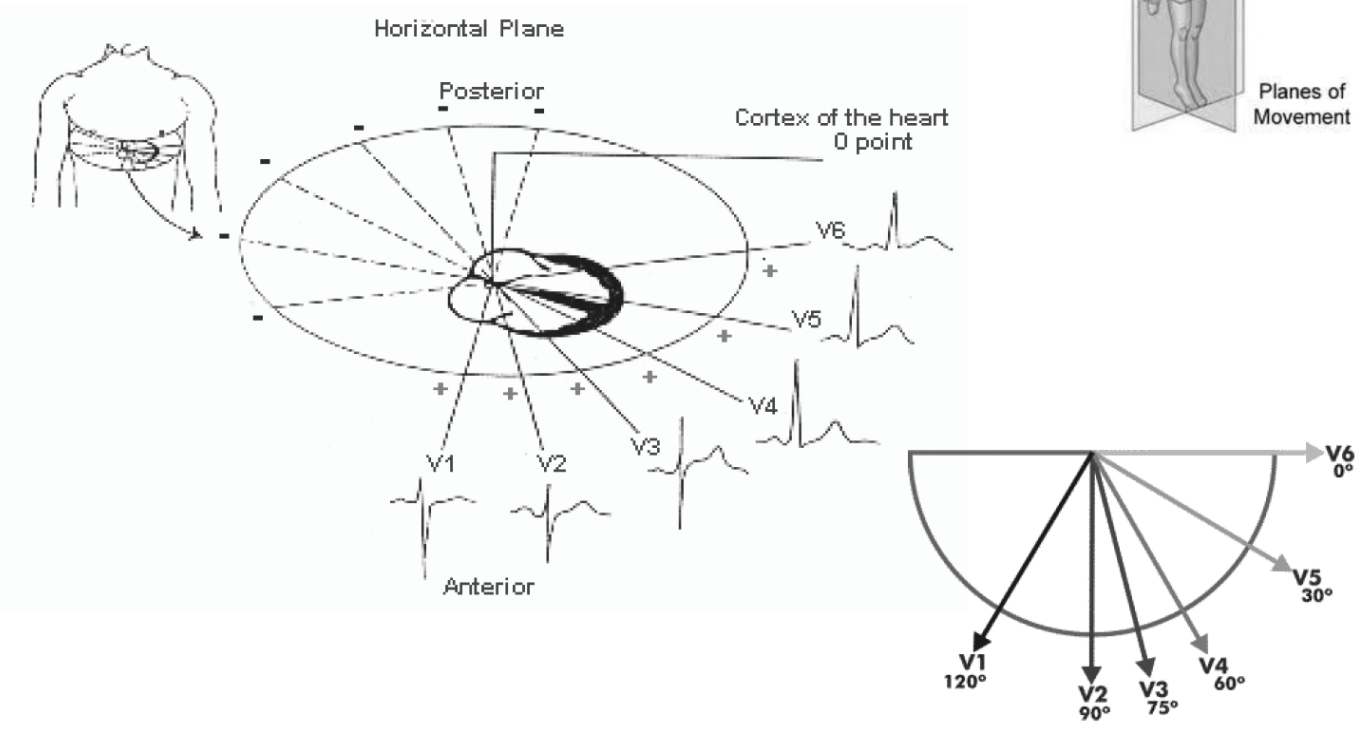
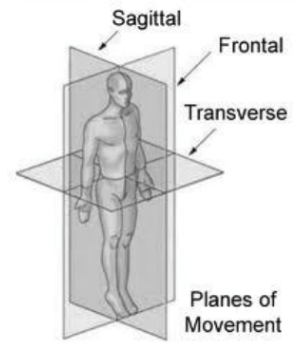
Frontal leads

- The frontal leads: Lead I, Lead II, Lead III, aVR, aVL, aVF view the heart from a vertical plane.



Transverse leads

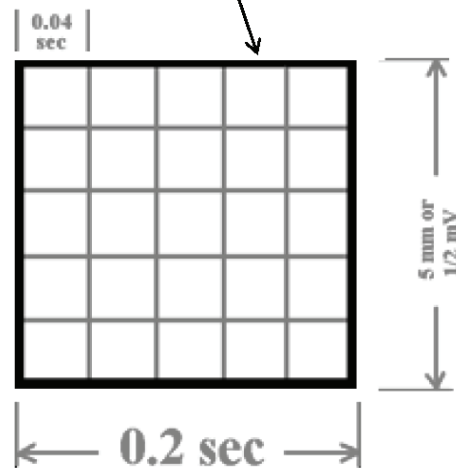
- The transverse (unipolar) leads: V1, V2, V3, V4, V5, V6 view the heart from a horizontal plane.



A real ECG



- The ECG Paper**
- Horizontally:
 - One small box - 0.04 sec
 - One large box - 0.20 sec
 - Vertically
 - One large box - 0.5 mV



- A standard ECG is recorded at a speed of 25 mm/sec., over 10 - 15 sec. On the Y-axis, the voltage scale is 1 mV = 10 mm

Przykładowy wydruk 12-odprowadzeniowego badania EKG

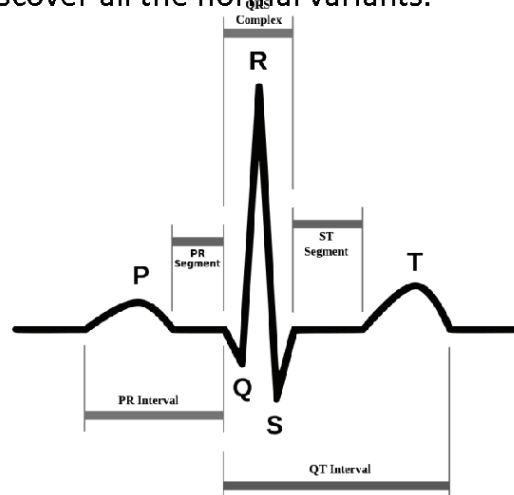


- A standard ECG is recorded at a speed of 25 mm/sec, one large box = 0.20 sec
- On the Y-axis, the voltage scale is 1 mV = 10 mm
- The vertical hash mark indicates when the recording switches from Lead I to Lead aVR

The Normal ECG

- Each lead gives a slightly different view of the electrical events in the heart, so the output from each lead will look a little different.
- An **"idealized" normal ECG is not from any one lead but identify its parts and how they relate to the electrical activity in the heart.**
- It takes considerable ECG reading experience to discover all the normal variants.
- The events of the ECG:**

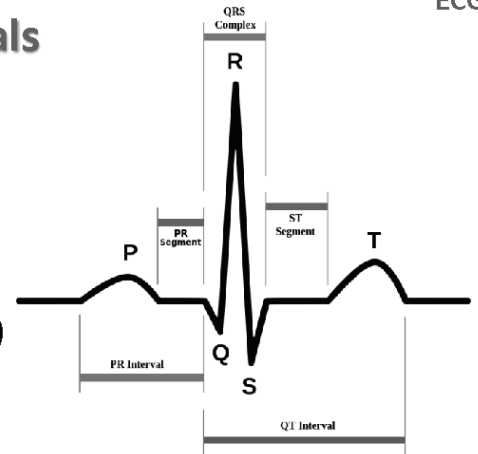
- P wave,
- QRS complex,
- ST-T wave,
- U wave,
- PR interval,
- QRS duration,
- QT interval,
- RR interval,
- PP interval.



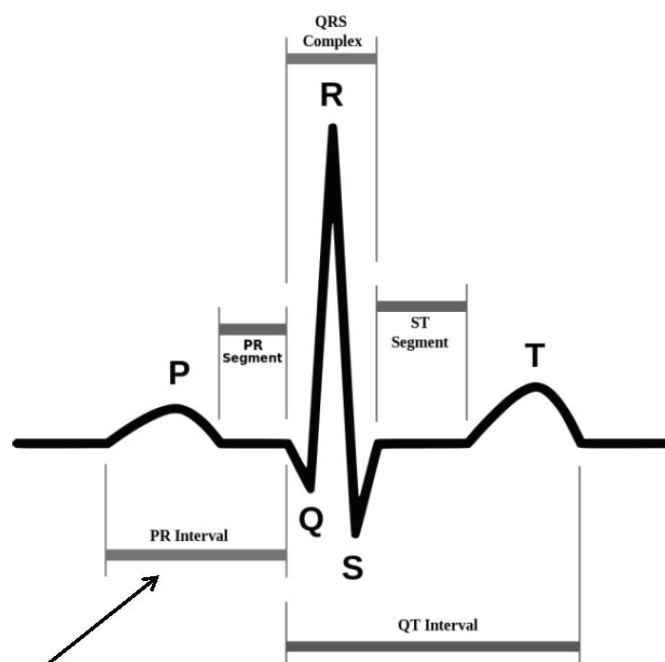
ECG of a heart in normal sinus rhythm

ECG Waves and Intervals

- **P wave:** the sequential activation (depolarization) of the right and left atria
- **QRS complex:** right and left ventricular depolarization (normally the ventricles are activated simultaneously)
- **ST-T wave:** ventricular repolarization
- **U wave:** origin for this wave is not clear - but probably represents "afterdepolarizations" in the ventricles
- **PR interval:** time interval from onset of atrial depolarization (**P wave**) to onset of ventricular depolarization (QRS complex)
- **QRS duration:** duration of ventricular muscle depolarization
- **QT interval:** duration of ventricular depolarization and repolarization
- **RR interval:** duration of ventricular cardiac cycle (an indicator of ventricular rate)
- **PP interval:** duration of atrial cycle (an indicator of atrial rate)

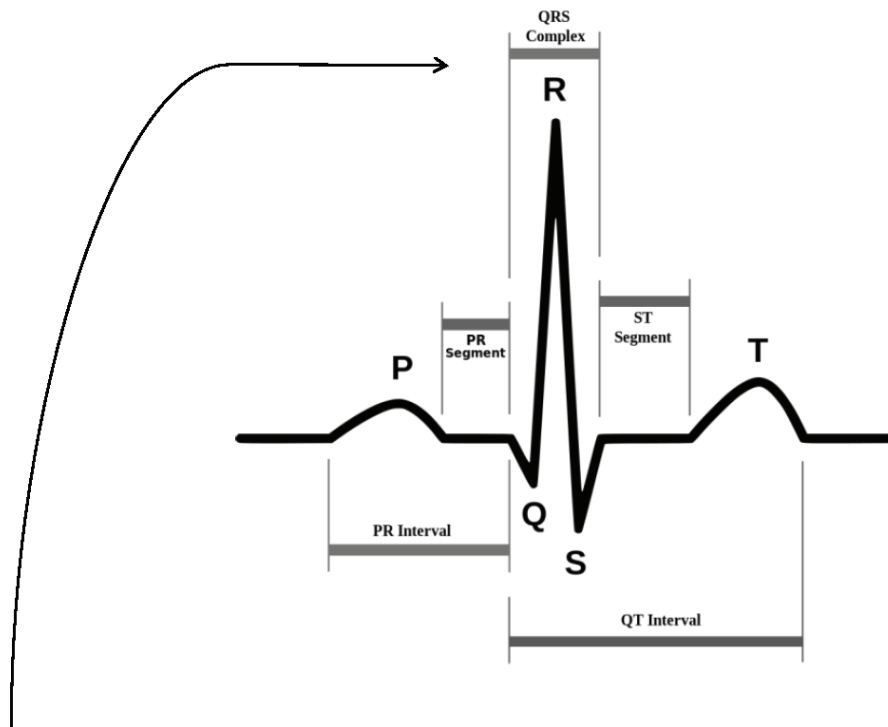


ECG Rules



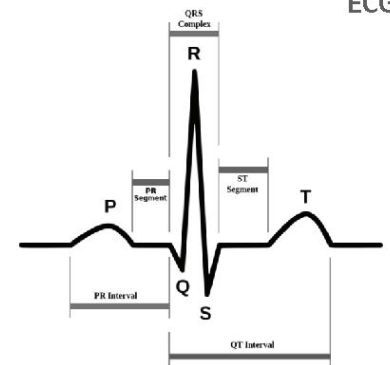
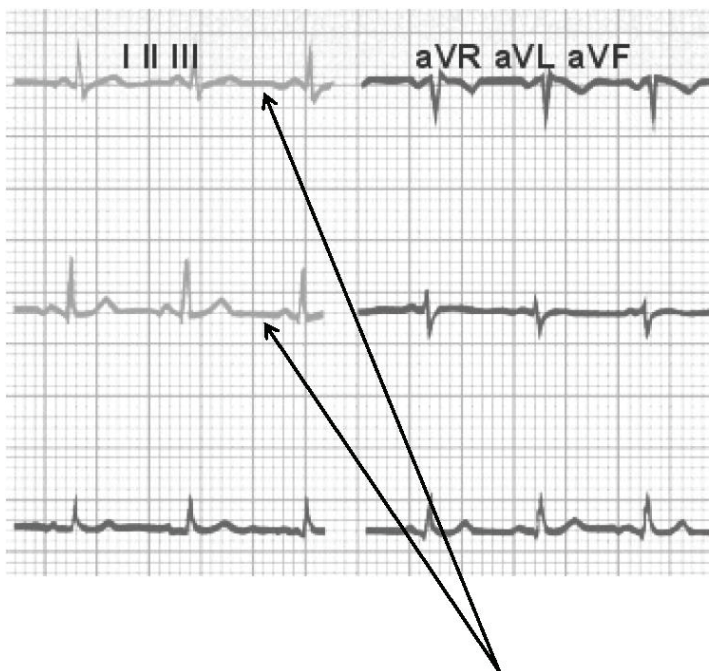
- 1) PR interval should be 120 to 200 milliseconds or 3 to 5 little squares

ECG Rules cont.



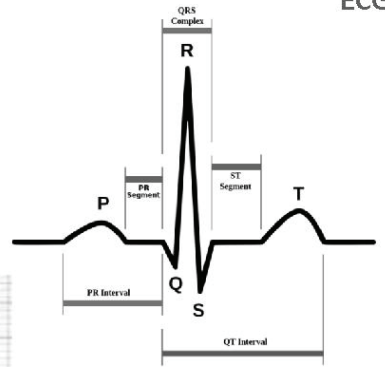
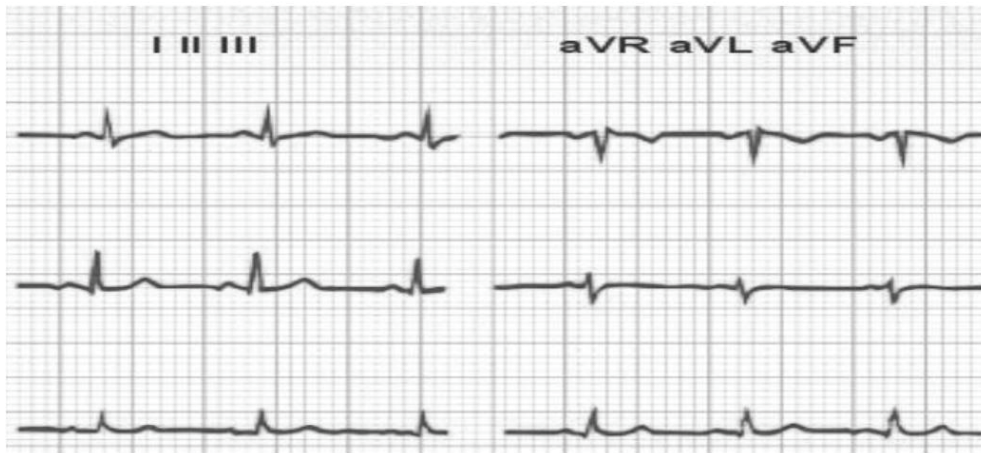
2) The width of the QRS complex should not exceed 110 ms, less than 3 little squares

ECG Rules cont.



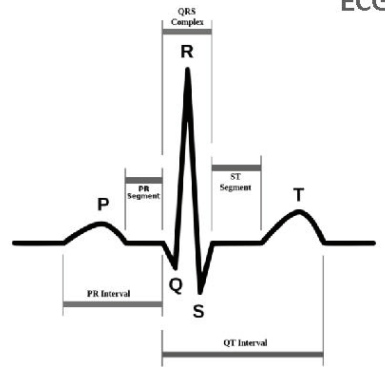
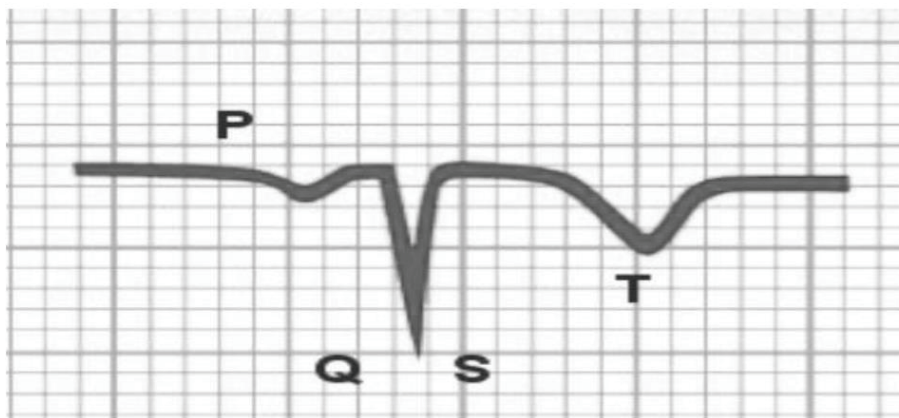
3) The QRS complex should be dominantly upright in leads I and II

ECG Rules cont.



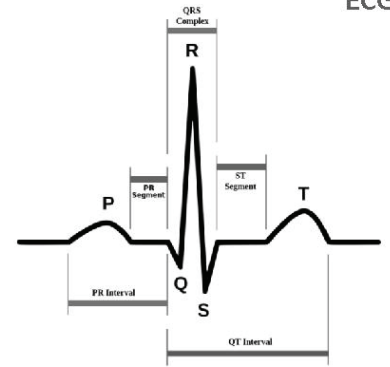
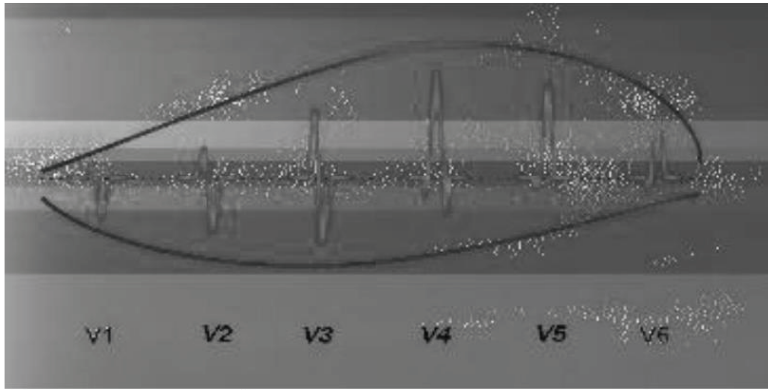
4) QRS and T waves tend to have the same general direction in the limb leads

ECG Rules cont.



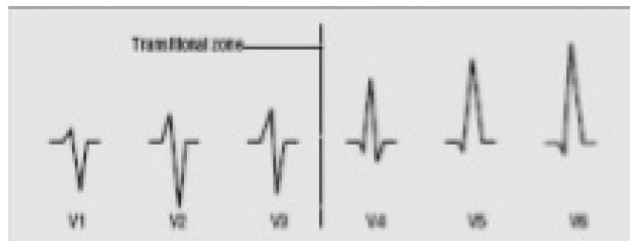
5) All waves are negative in lead aVR

ECG Rules cont.

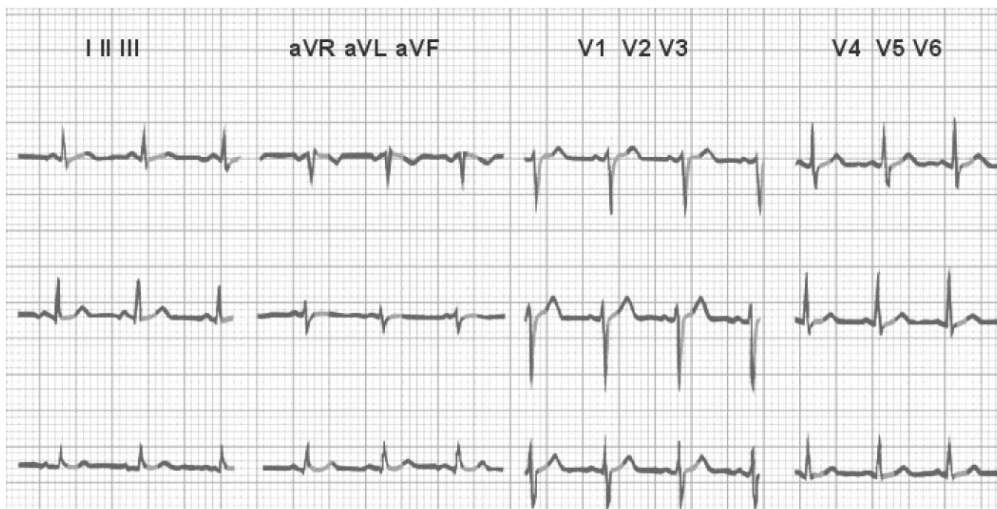
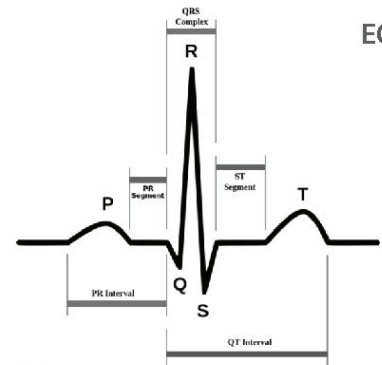


6)

- The R wave must grow from V1 to at least V4
- The S wave must grow from V1 to at least V3 and disappear in V6

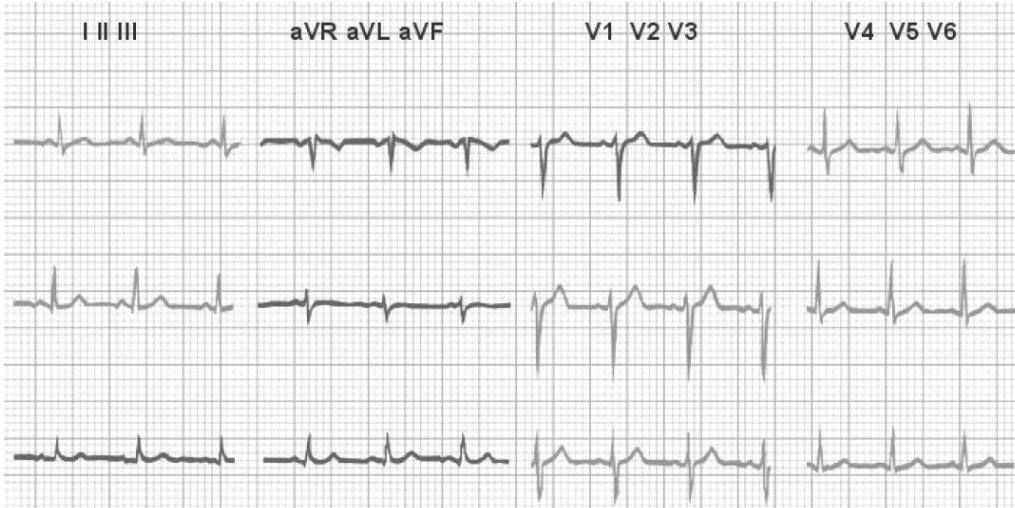
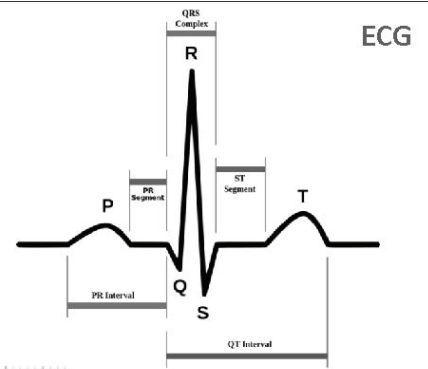


ECG Rules cont.



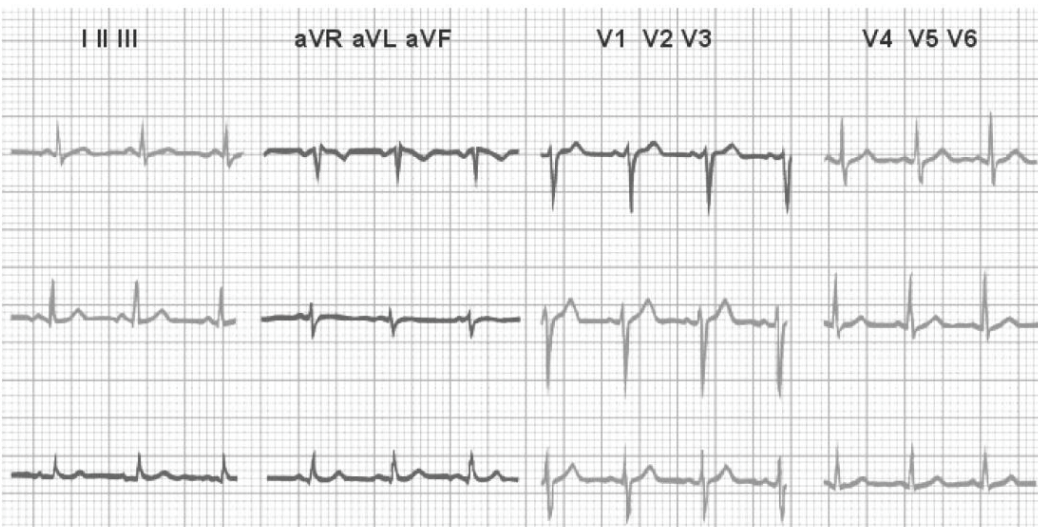
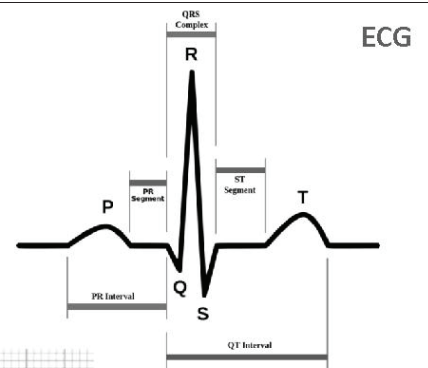
- 7) The ST segment should start isoelectric except in V1 and V2 where it may be elevated

ECG Rules cont.



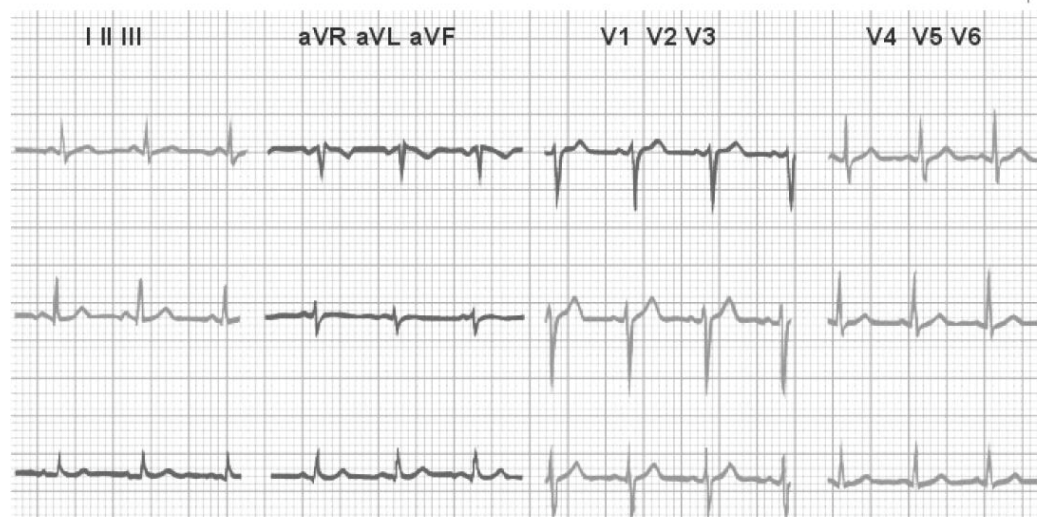
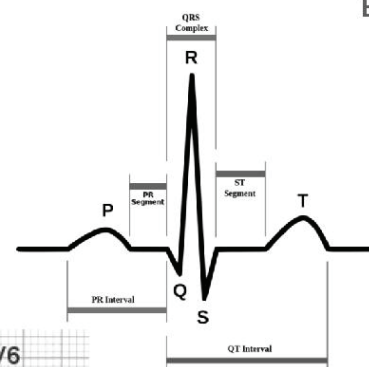
8) The P waves should be upright in I, II, and V2 to V6

ECG Rules cont.



9) There should be no Q wave or only a small (less than 0.04 seconds in width) in I, II, V2 to V6

ECG Rules cont.



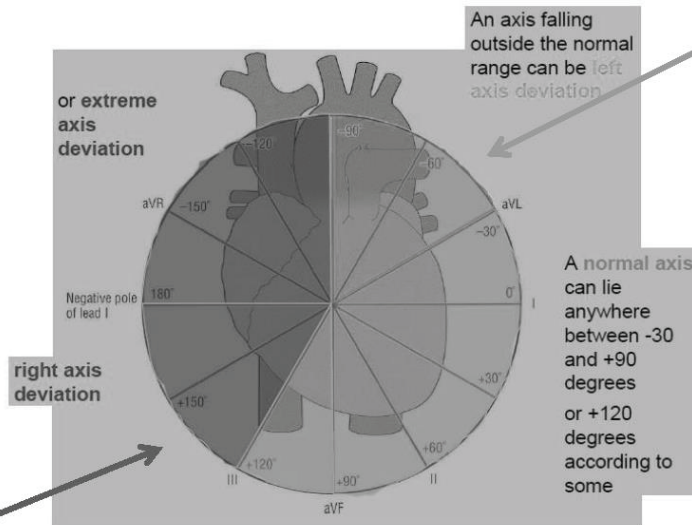
10) The T wave must be upright in I, II, V2 to V6

Określanie osi elektrycznej serca

- Przez oś elektryczną serca rozumie się prostą w przestrzeni, na której leży wektor pola elektrycznego wytwarzanego przez depolaryzację komórek w chwili osiągnięcia wartości maksymalnej.
- Wyznaczanie osi elektrycznej serca jest metodą określenia położenia serca wewnątrz ciała oraz określenia wzajemnego stosunku mas mięśniowych komórek.
- Odchylenia osi elektrycznej mogą być również reprezentacją rozległych obszarów ogarniętych martwicą (nie biorących udziału w skurczu), np. blizn pozawałowych.
- W zależności od odprowadzeń, na podstawie których wyznaczono oś serca, przez kierunek osi elektrycznej rozumiany jest jej rzut na płaszczyznę:
 - pionową - dla odprowadzeń kończynowych,
 - poziomą - dla odprowadzeń przedsercowych.

The Mean Electrical Axis

- An abnormal axis (axis deviation) can give a clue to possible pathology :



Left Axis Deviation

- Ventricular tachycardia
- Inferior MI
- Left ventricular hypertrophy
- Left Anterior Hemiblock

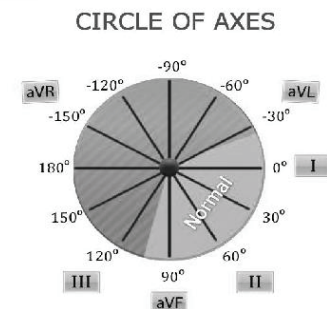
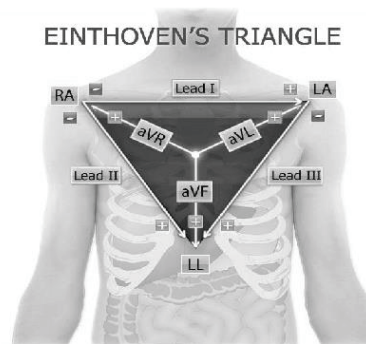
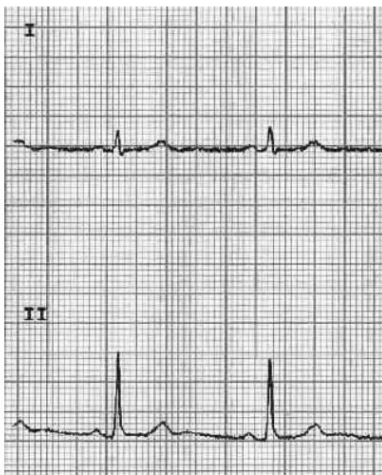
Right Axis Deviation

- Right ventricular hypertrophy
- Anterolateral MI
- Left Posterior Hemiblock

The Mean Electrical Axis calculation

EXAMPLE

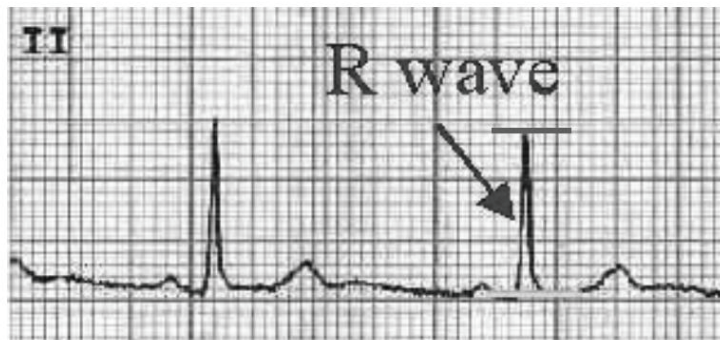
- Let's consider the leads I and II from a standard 12-lead ECG and focus on the QRS complex, which represents ventricular depolarization.
- We need to identify the QRS complexes in each lead



The Mean Electrical Axis calculation cont.



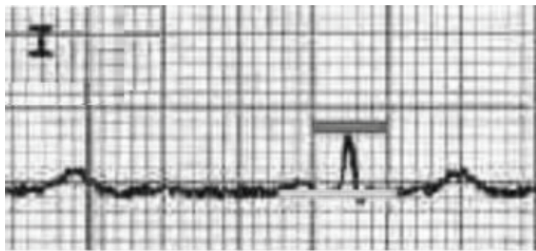
- In lead I, an initial positive going wave R is followed by small S wave.



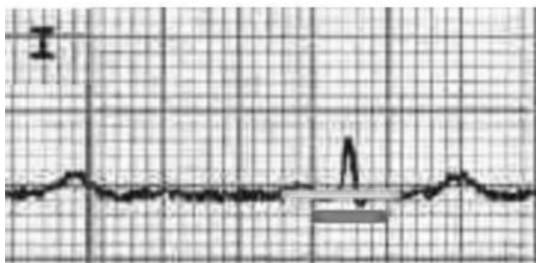
- In lead II, there are not significant negative deflections on either side of the R wave.
- Height of the R wave: 14 squares = 14 mm.

- The green line indicates the isoelectric (zero current) line.

The Mean Electrical Axis calculation cont.



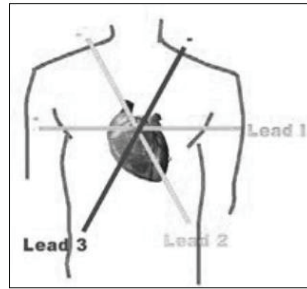
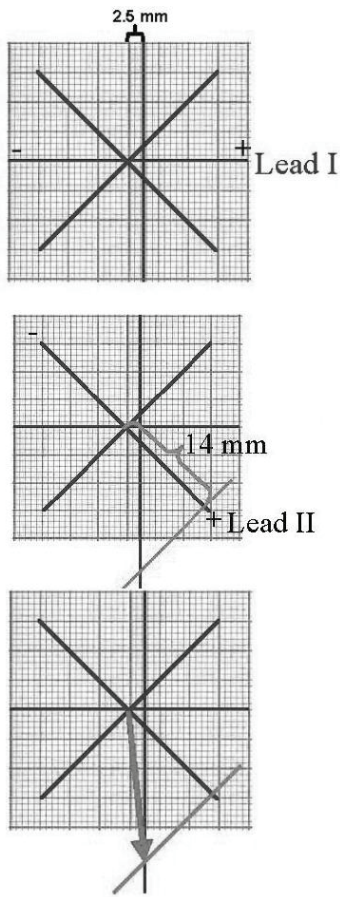
- For the **R wave** (Lead I): count from the isoelectric line (green) to the peak (red): **3.5 squares = 3.5 mm**



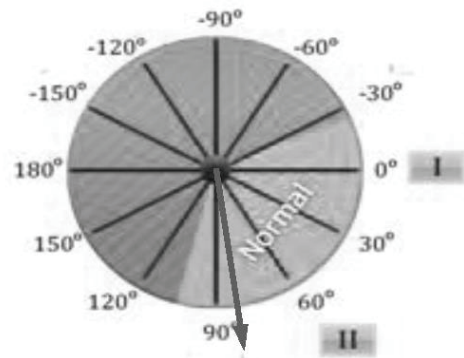
- For the **S wave** (Lead I): Again, from the isoelectric line (green) to the down peak (red): **1 square = 1 mm**

- The next step for this lead is to subtract the heights of the negative going leads from the height of the positive going leads: **3.5 mm – 1mm = 2.5 mm**

The Mean Electrical Axis calculation cont.

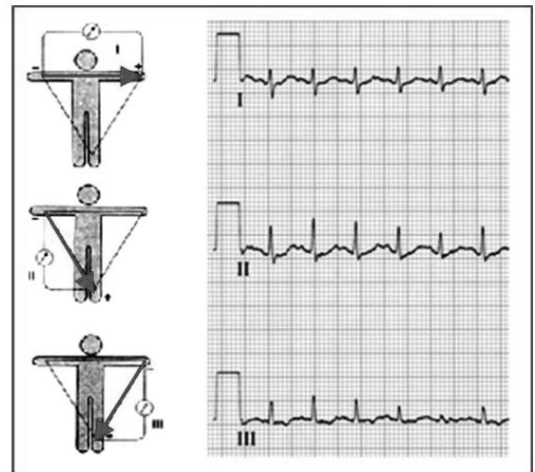
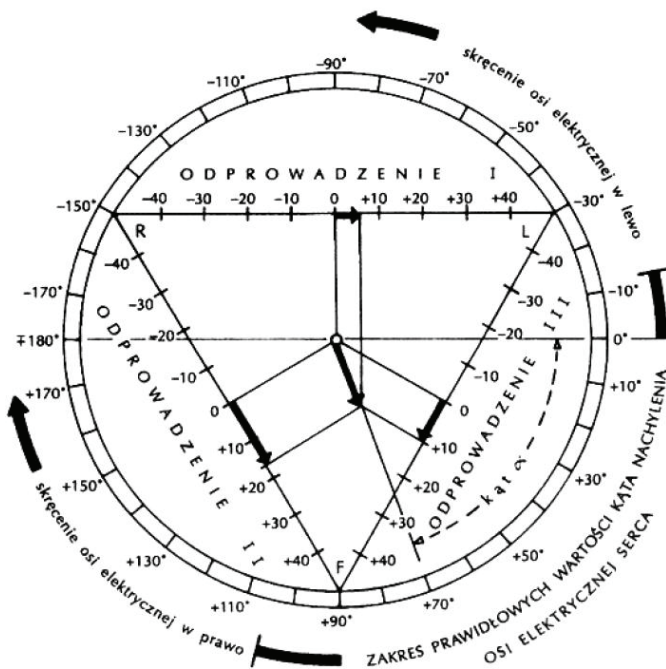


CIRCLE OF AXES



The Mean Electrical Axis calculation

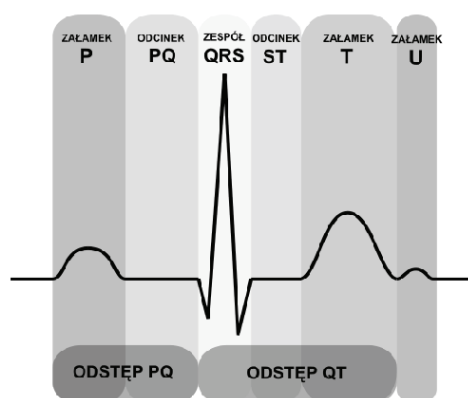
Useful tool:
Nomogram for determining the axis of the heart with the use of standard limb leads



The Mean Electrical Axis calculation

- ❑ An algorithm that analyzes the electrocardiogram to the designation of the axis of the heart is to solve the equation of a standard trigonometric values of R waves, recorded in the relevant limb leads.
- ❑ The problem is the correct choice of the maximum value of the electric field vector . The reason is the presence of interference, which can lead to the detection of several local maxima.

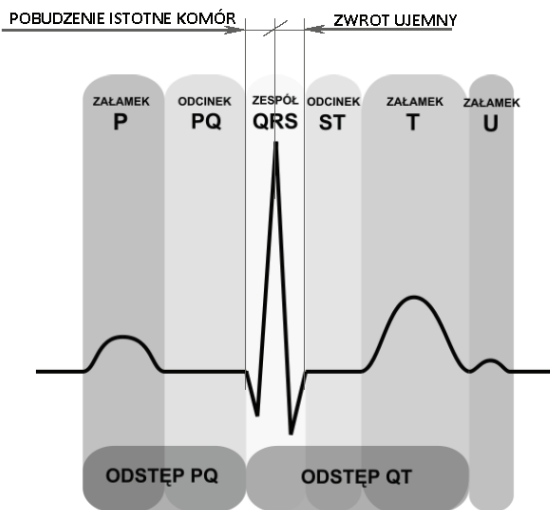
Charakterystyka sygnału EKG



Na wykresie EKG analizuje się:

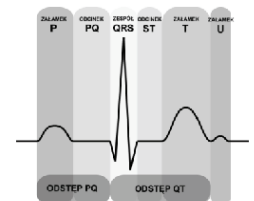
- **Linie izoelektryczną** – linia pozioma zarejestrowana w czasie, gdy w sercu nie stwierdza się żadnych pobudzeń. Najłatwiej wyznaczyć ją według odcinka PQ. Stanowi ona punkt odniesienia poniższych zmian.
- **Załamki** – wychylenia od linii izoelektrycznej:
 - dodatni (wychylony w górę),
 - ujemny (wychylony w dół).
- **Odcinki** – czas trwania linii izoelektrycznej pomiędzy załamkami.
- **Odstępy** – łączny czas trwania odcinków i sąsiadującego załamka.

Charakterystyka sygnału EKG Szczególne fragmenty



- **Zwrot ujemny** – w odprowadzeniach przedsercowych fragment zespołu QRS, od szczytu załamka R do końca zespołu, zwany także wychyleniem wewnętrznym;
- **Pobudzenie istotne komór** ≠ zwrot ujemny! - to fragment od początku zespołu QRS do szczytu załamka R, zwany także opóźnieniem ujemnego zwrotu.

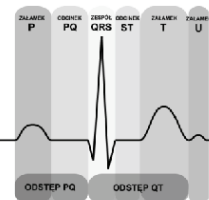
12-odprowadzeniowe badanie EKG Informacje diagnostyczne



Zestaw informacji diagnostycznych możliwych do uzyskania w wyniku standardowego 12-odprowadzeniowego badania EKG obejmuje określenie:

- wartości rytmu serca uśrednionej w ocenianym odcinku;
- ilości typów morfologicznych, tzn. ilość aktywnych ośrodków bodźcotwórczych i ich udział w ogólnej liczbie uderzeń;
- faktu występowania załameków, ich długości oraz pozostałych parametrów czasowych: odstępów i odcinków;
- parametrów (poziom i nachylenie) odcinka ST w każdym z odprowadzeń;
- rozbieżności długości odcinka QT w każdym z odprowadzeń (ang. *QT- dispersion*);
- osi serca poprzez porównanie amplitud w odpowiednich odprowadzeniach w momencie, w którym stwierdzono maksymalną wartość modułu tych sygnałów.

Automatyczna analiza sygnału EKG



Etapy automatycznej analizy zapisu:

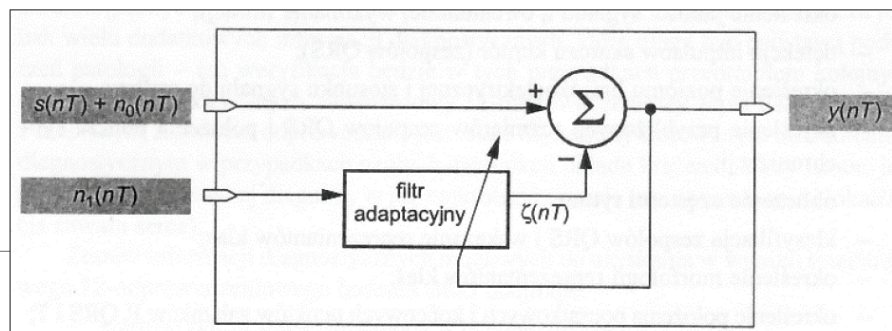
- określenie jakości sygnału i, ewentualnie, wykonanie filtracji;
- detekcja impulsów skurczu komór (zespołów QRS);
- określenie poziomu linii izoelektrycznej i stosunku sygnału do szumu;
- określenie przybliżonych rozmiarów zespołów QRS i położenia punktu synchronizacji;
- obliczenie częstości rytmu;
- klasyfikacja zespołów QRS i wskazanie reprezentantów klas;
- określenie morfologii reprezentantów klas;
- określenie położenia początkowych i końcowych punktów załamków P, QRS i T;
- obliczenie parametrów odcinka ST;
- obliczenie dyspersji końca załamka T poszczególnych odprowadzeniach;
- stwierdzenie występowania późnych potencjałów komorowych;
- **obliczenie osi serca.**

Automatyczna analiza sygnału EKG

Określenie jakości sygnału

- Określenie jakości zarejestrowanego sygnału EKG jest najczęściej polega na przeprowadzeniu testu na przekroczenie dopuszczalnego stosunku energii w paśmie powyżej 35 Hz (lub około 50 Hz) do całkowitej energii sygnału (przy ustalonej wartości progowej).
- W przypadkach wskazujących na niekorzystny odstęp sygnału od szumu możliwe jest automatyczne podjęcie następujących działań:
 - wybór do detekcji innych kanałów o lepszych parametrach;
 - zastosowanie filtracji sygnału przy użyciu filtru cyfrowego - w przypadku obecności zakłóceń w paśmie sieciowym (około 50 Hz) lub zakłóceń mięśniowych (powyżej 35 Hz).

Określenie jakości sygnału EKG



$s(nT)$ - sygnał wejściowy,
 $n_0(nT)$ - zakłócenia sieciowe nieskorelowane z sygnałem wejściowym,
 $n_1(nT)$ - sygnał o częstotliwości sieciowej,
 $\zeta(nT)$ - estymata szumu $n_0(nT)$ uzyskana przez filtr adaptacyjny,

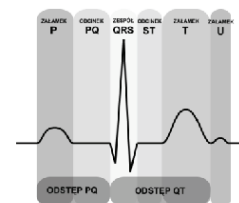
Sygnał wyjściowy: $y(nT) = s(nT) + n_0(nT) - \zeta(nT)$
 modyfikuje współczynniki filtru adaptacyjnego, tak aby zapewnić minimum energii sygnału $y(nT)$:

$$\min E [y^2] = E [s^2] + \min E [(n_0 - \zeta)^2].$$

Jest to równoznaczne z minimalizacją błędu średniokwadratowego $(n_0 - \zeta)$, oraz oznaką adaptacji filtru ($n_0 = \zeta$).

Adaptacyjna filtracja zakłóceń sieciowych

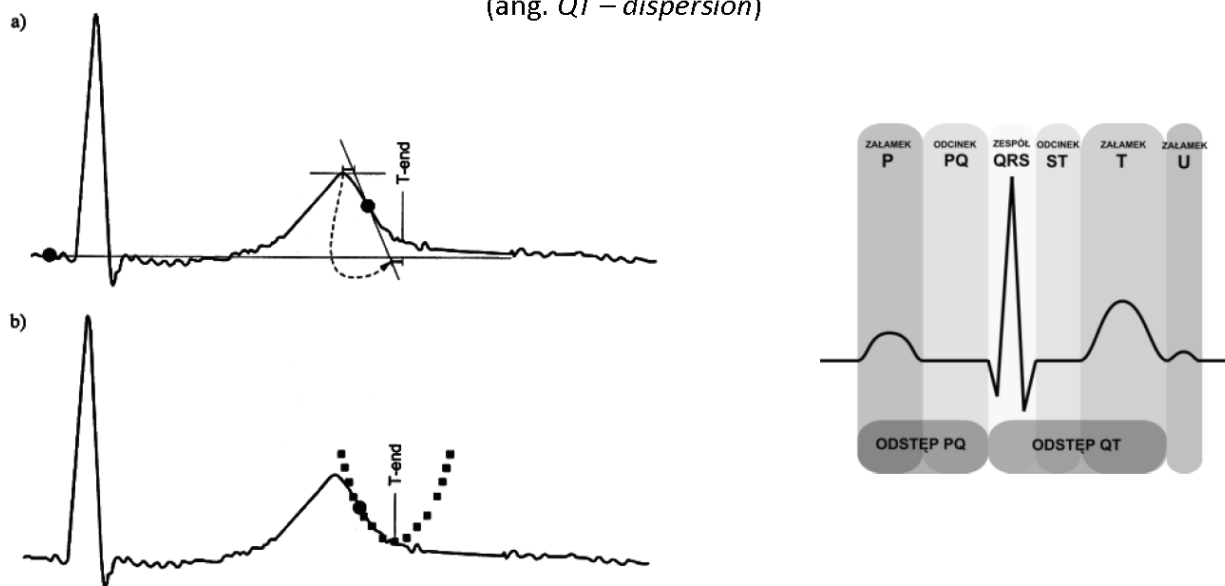
Automatyczna detekcja zespołów QRS



- **Cel detekcji** - wskazanie, gdzie w sygnale występują zespoły skurczowe serca.
- **Detektor powinien spełniać następujące założenia:**
 - tylko zespoły QRS i wszystkie zespoły QRS są oznaczane,
 - każdy zespół QRS jest oznaczany dokładnie raz,
 - punkt sygnału (numer próbki) wskazany przez detektor leży w obrębie zespołu QRS,
 - punkt detekcji dwóch identycznych zespołów leży w tej samej odległości od początku zespołu.

Detekcja zespołów QRS przebiega zwykle dwuetapowo.

Określenie dyspersji końca załamka T w poszczególnych odprowadzeniach (ang. *QT – dispersion*)



Metody wyznaczania końca załamka T w indywidualnych odprowadzeniach

Określanie osi elektrycznej serca

- Przez oś elektryczną serca rozumie się prostą w przestrzeni, na której leży wektor pola elektrycznego wytwarzanego przez depolaryzację komórek w chwili osiągnięcia wartości maksymalnej.
- Wyznaczanie osi elektrycznej serca jest metodą określenia położenia serca wewnątrz ciała oraz określenia wzajemnego stosunku mas mięśniowych komórek.
- Odchylenia osi elektrycznej mogą być również reprezentacją rozległych obszarów ogarniętych martwicą (nie biorących udziału w skurczu), np. blizn pozawałowych.
- W zależności od odprowadzeń, na podstawie których wyznaczono oś serca, przez kierunek osi elektrycznej rozumiany jest jej rzut na płaszczyznę:
 - pionową - dla odprowadzeń kończynowych,
 - poziomą - dla odprowadzeń przedsercowych.

Całodobowa rejestracja EKG metodą Holtera

Najważniejsze aspekty rejestracji 24 godzinnej :

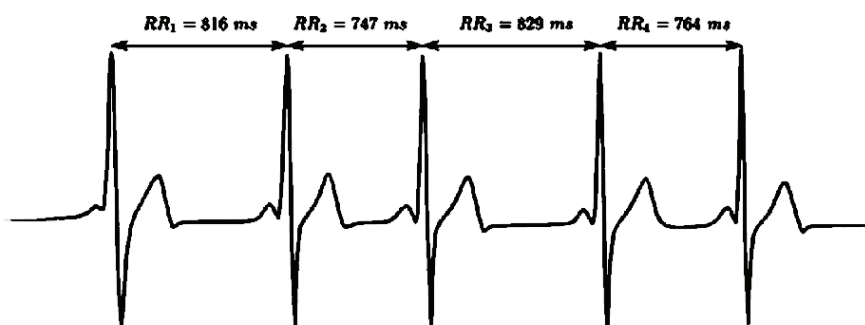
- monitorowanie EKG w naturalnych warunkach życia osoby badanej;
- poznanie **zmienności rytmu serca HRV** (ang. *heart rate variability*) i współzależności neurokardiologicznych pobudzających i hamujących akcję serca w czasie czuwania i w czasie snu;
- detekcja sekwencji pobudzeń różnego pochodzenia (arytmii), wyjaśniających przyczyny odmiennego zachowania komórek rozrusznikowych w zakresie automatyzmu własnego;
- ocena podatności na wystąpienie spontanicznej tachykardii komorowej i ocena zagrożenia migotaniem komór poprzez analizę zmienności formy załamka T z uderzenia na uderzenie (ang. *T-alternans*);
- analiza prawidłowości pracy kardiostymulatora.

Ocena zmienności rytmu serca (HVR)

- **Ocena zmienności rytmu serca** jest podstawową techniką umożliwiającą ocenę wpływu układu współczulnego (pobudzanie) i przywspółczulnego (hamowanie) na akcję serca - informacja o pracy autonomicznego systemu nerwowego.
- Analiza ilościowa i jakościowa zmienności rytmu serca HRV opiera się na bieżących wartościach interwałów między uderzeniowych (odstępów RR) i może być prowadzona przy użyciu metod:
 - w dziedzinie czasu (analiza statystyczna);
 - częstotliwościowych (analiza tachogramu);
 - czasowo-częstotliwościowych (analiza falkowa i STFT - krótkoczasowa transformata Fouriera)
 - nieliniowych (np. wykres *Poincaré*).

Ocena zmienności rytmu serca (HRV) w dziedzinie czasu - metody statystyczne

Zmienność rytmu zatokowego opisują różnice w długościach interwałów RR wyznaczanych przez kolejne szczyty (wyznaczane aproksymacyjnie) zespołów QRS .



Zmienność rytmu zatokowego

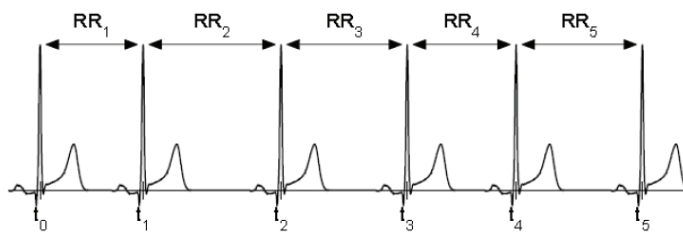
Ocena zmienności rytmu serca (HRV) w dziedzinie czasu - metody statystyczne

- Po detekcji zespołów QRS i aproksymacyjnym wskazaniu punktów centrujących tworzy się ciąg kolejnych różnic położenia tych punktów zwany tachogramem surowym.
- Ponieważ analiza zmienności rytmu obejmuje wyłącznie pobudzenia pochodzenia zatokowego (wygenerowane przez węzeł SA), konieczne jest wykluczenie wszelkich pobudzeń innego typu. W powstałej przerwie należy wygenerować sztucznie pobudzenia spełniające dwa warunki:
 - suma bezwzględnych wartości różnic sąsiednich interwałów RR powinna być minimalna,
 - suma wszystkich interwałów RR musi być równa długości przerwy.
- Powstały tachogram aproksymowany stanowi podstawę wyznaczania statystycznych i geometrycznych współczynników zmienności akcji serca.

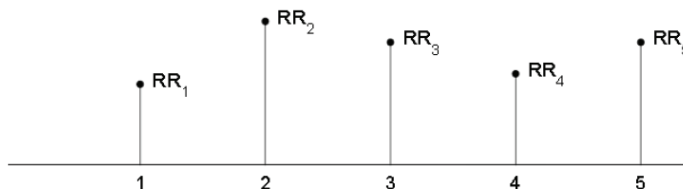


Ocena zmienności rytmu serca (HRV)

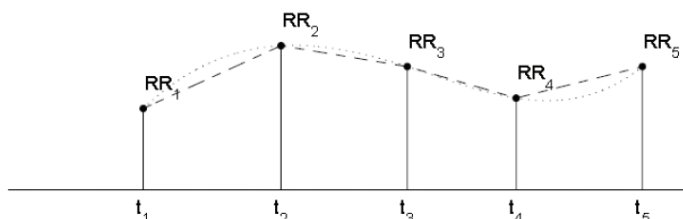
Sygnał EKG



Tachogram surowy sygnału EKG



Tachogram aproksymowany sygnału EKG
(dwa sposoby interpolacji)



Ocena zmienności rytmu serca (HRV)

Definicje parametrów statystycznych

Parametry statystyczne stosowane w diagnostyce kardiologicznej:

- Wartość średnia interwałów RR rytmu zatokowego, [ms]: $\overline{RR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RR_i$
- Odchylenie standardowe interwałów RR (*ang. standard deviation normal to normal*), [ms]:

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\overline{RR} - RR_i)^2}$$

- $SDNN$ reprezentuje zróżnicowanie rytmu: między dniem i nocą, między minimalną i maksymalną częstością rytmu w ciągu doby, zależne od układu współczulnego.

gdzie: N – liczba próbek tachogramu, RR_i wartość i -tego interwału RR .

Ocena zmienności rytmu serca (HRV)

Definicje parametrów statystycznych c.d.

- Pierwiastek kwadratowy ze średniej kwadratów różnic pomiędzy kolejnymi dwoma interwałami RR (ang. *root mean square of successive differences*), [ms]

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2}$$

- $RMSSD$ odzwierciedla krótkotrwałe zmiany częstości rytmu zależne od układu przywspółczulnego.

gdzie: N – liczba próbek tachogramu, RR_i wartość i -tego interwału RR .

Ocena zmienności rytmu serca (HRV)

Definicje parametrów statystycznych c.d.

- Liczba interwałów RR , których różnica przekracza 50 ms:

$$NN50 = \sum_{i=1}^{N-1} f_i \quad , \quad f_i = \begin{cases} 1 & \text{gdy } |RR_{i+1} - RR_i| > 50 \\ 0 & \text{gdy } |RR_{i+1} - RR_i| \leq 50 \end{cases} .$$

- Odsetek różnic pomiędzy interwałami RR , których różnica przekracza 50 ms, [%]:

$$pNN50 = \frac{NN50}{N-1} \times 100\%$$

- $pNN50$ jest odzwierciedleniem krótkotrwałych zmian częstości rytmu zależnych od układu przywspółczulnego.

gdzie: N – liczba próbek tachogramu, RR_i wartość i -tego interwału RR .

Ocena zmienności rytmu serca (HRV) Definicje parametrów statystycznych c.d.

- Odchylenie standardowe ze wszystkich średnich interwałów RR w 5 minutowych segmentach czasu całego zapisu, [ms]

$$SDANN$$

- Średnia z odchyłeń standardowych interwałów RR w 5 minutowych segmentach czasu całego zapisu, [ms]

$$SDANN_{index}$$

- Odchylenie standardowe różnic pomiędzy dwoma sąsiadującymi interwałami RR , [ms]:

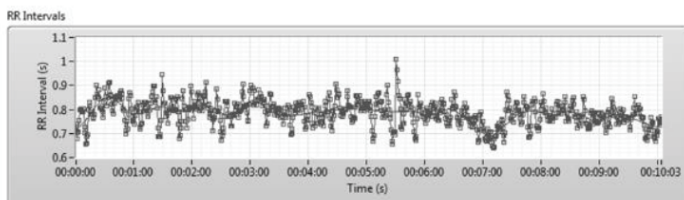
$$SDSD = \sqrt{E\{\Delta RR_j^2\} - E\{\Delta RR_j\}^2},$$

może być użyte jako miara krótkotrwałej zmienności rytmu.

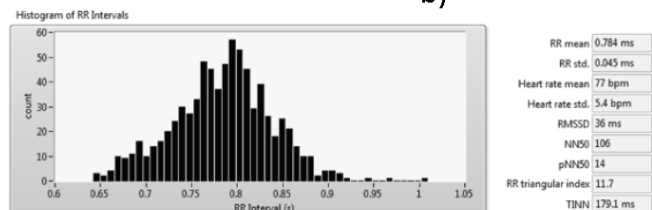
Ocena zmienności rytmu serca (HRV) w dziedzinie czasu - metody geometryczne

- Współczynniki geometryczne opisujące zmienność rytmu zatokowego bazują na aproksymacji **histogramu**:
 - aproksymacji trójkątem histogramu interwałów RR , lub
 - oceny nachylenia zboczy histogramu kolejnych różnic interwałów RR .

a)



b)



Przykłady oceny zmienności rytmu serca:

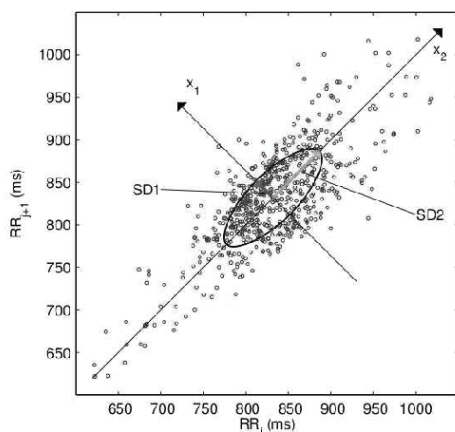
a) obliczanie trendu interwałów RR , b) histogram interwałów RR sygnału z rys. a)

Ocena zmienności rytmu serca (HRV) w dziedzinie czasu - metody geometryczne

- Do metod geometrycznych należy także analiza wykresu kolejnych interwałów RR – tzw. wykres *Poincaré*, który tworzą punkty P_i o współrzędnych $P_i(R_i R_{i+1}, R_{i+1} R_{i+2})$.
 - Ocena wykresu *Poincaré* może ograniczyć się do zidentyfikowania charakterystycznego kształtu chmury punktów P_i (np. cygaro, torpeda, kometa, motyl).
W takim przypadku analiza ma charakter jakościowy – brak jest współczynnika liczbowego obliczanego na podstawie danych interwałów RR.
 - Powszechnym podejściem ilościowym jest „dopasowanie” do wykresu *Poincaré* elipsy zorientowanej wzdłuż linii $(R_i R_{i+1} = R_{i+1} R_{i+2})$.
Parametry geometryczne takiej elipsy mają związek z parametrami statystycznymi $SD1$ i $SDNN$ zmienności rytmu serca.

Ocena zmienności rytmu serca (HRV) Metody nieliniowe – wykres *Poincaré*

- W przypadku „dopasowania” wykresu do elipsy:
 - oś mała elipsy $SD1$ opisuje krótko-czasową zmienność rytmu serca;
 - oś duża elipsy $SD2$ opisuje długoczasową zmienność akcji serca.



Wykres Poincaré interwałów RR

- Zachodzą następujące związki między osiami elipsy a zdefiniowanymi parametrami statystycznymi :

$$SD1^2 = \frac{1}{2} SDSD^2$$

$$SD2^2 = 2 SDNN^2 - \frac{1}{2} SDSD^2$$

- Uzyskany przebieg można uznać za wykres I rzędu.
- Wykonuje się również wykresy II rzędu – obrazy 3D pozwalające zwiększyć możliwości diagnostyczne.

Ocena zmienności rytmu serca (HRV) Metody częstotliwościowe

Obliczony wykres widma mocy (kwadrat modułu Transformaty Fouriera) sygnału RR-ów dzielony jest zwykle na pasma, w których określana jest całkowita moc wyrażana przez współczynniki, w ms^2 :

- **HF** (ang. *high frequency*) – zakres (0,15 ÷ 0,40)Hz, ma związek z niemiarowością oddychania, opisuje działanie układu przywspółczulnego;
- **LF** (ang. *low frequency*) – zakres (0,04 ÷ 0,15)Hz, opisuje działanie układów współczulnego i przywspółczulnego;
- **VLF** (ang. *very low frequency*) – zakres (0,0033 ÷ 0,04)Hz, ma związek z regulacją termiczną ciała i aktywnością chemoreceptorów,
- **ULF** (ang. *ultra low frequency*) - zakres (0 ÷ 0,0033)Hz, odpowiada za zmiany dziennie-nocne.

Zwykle stosuje się 5 minutowe nagrania RR-ów. Dla zakresu ULF wymagany jest zapis o długości przekraczającej 5 minut.

Ocena zmienności rytmu serca (HRV) Metody częstotliwościowe c.d.

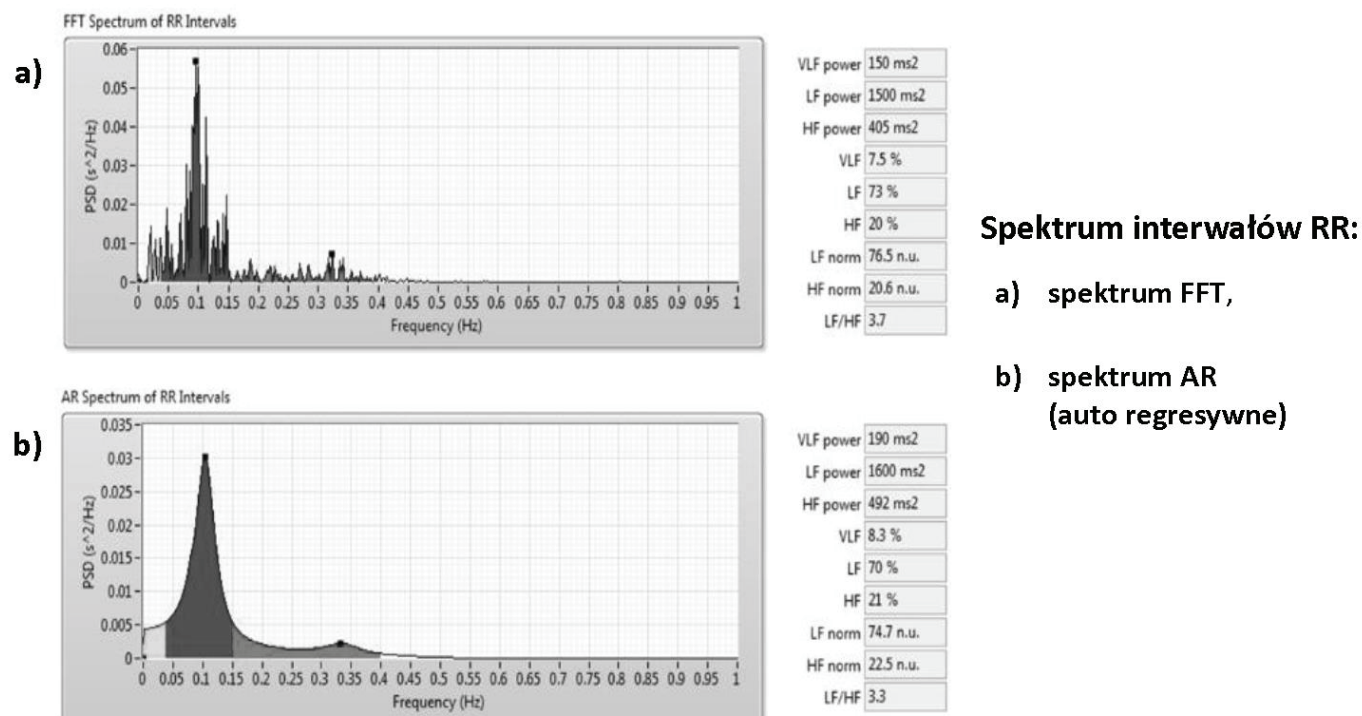
Dodatkowo obliczane są:

- **NHF** – znormalizowana moc widma w zakresie częstotliwości wysokich (HF);
- **NLF** – znormalizowana moc widma w zakresie częstotliwości niskich (LF);
- **LF /HF** – współczynnik w założeniu ma opisywać równowagę współczulno – przywspółczulną, (znaczenie tego wskaźnika jest kontrowersyjne ze względu na brak pewności co do interpretacji LF);
- Całkowita moc widma (odzwierciedla aktywność całego układu autonomicznego).

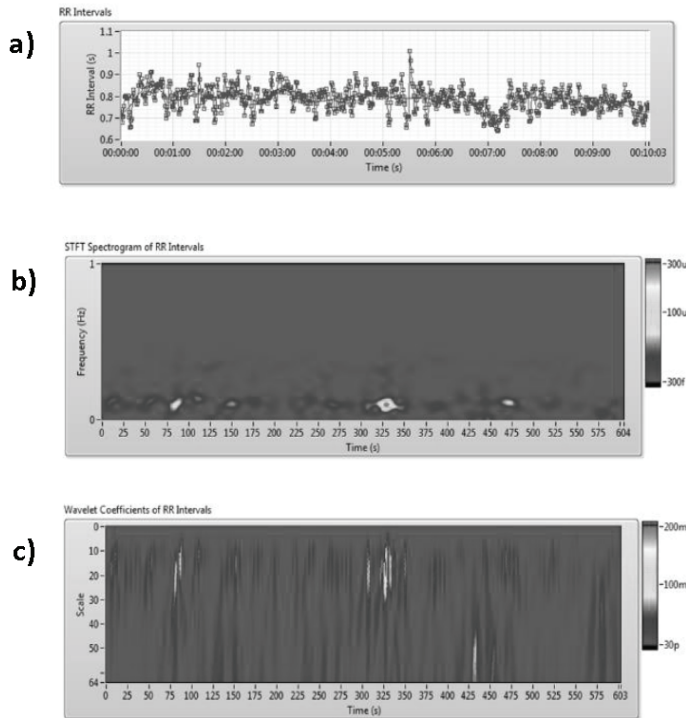
Ocena zmienności rytmu serca (HRV) Metody częstotliwościowe

- Analiza częstotliwościowa dostarcza informacji o dynamicznej równowadze układu autonomicznego umożliwiając ocenę współpracy układu współczulnego i przywspółczulnego.
- Współczynniki analizy częstotliwościowej HRV dobrze reprezentują zjawiska zmienności.
- Podstawowa wada – znaczna złożoność obliczeniowa spowodowana:
 - aproksymacją tachogramu (mogącego zawierać nawet do 200 000 próbek) oraz
 - transformacją Fouriera.

Ocena zmienności rytmu serca (HRV) Metody częstotliwościowe



Ocena zmienności rytmu serca (HRV) Analiza czasowo-częstotliwościowa



a) Przebieg sygnału i linia trendu interwałów RR,

b) STFT sygnału RR,

c) Analiza falkowa sygnału RR.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ